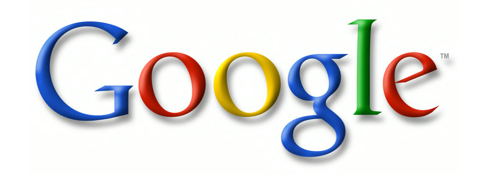
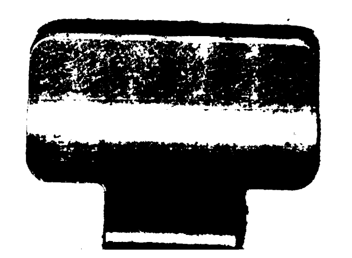



QC
481
R3
UC-NRLF
$B 270 826
YB 09613









Über Einwirkung
von
Röntgenstrahlen auf Flussspat.

Inaugural-Dissertation

einer

Hohen philosophischen Fakultät der Universität Rostock

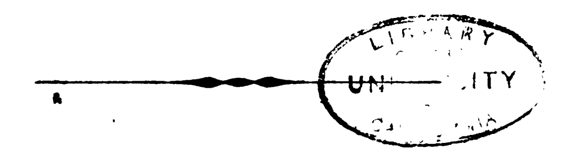
zur

Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt von

Walther Radeboldt

aus Rathenow.



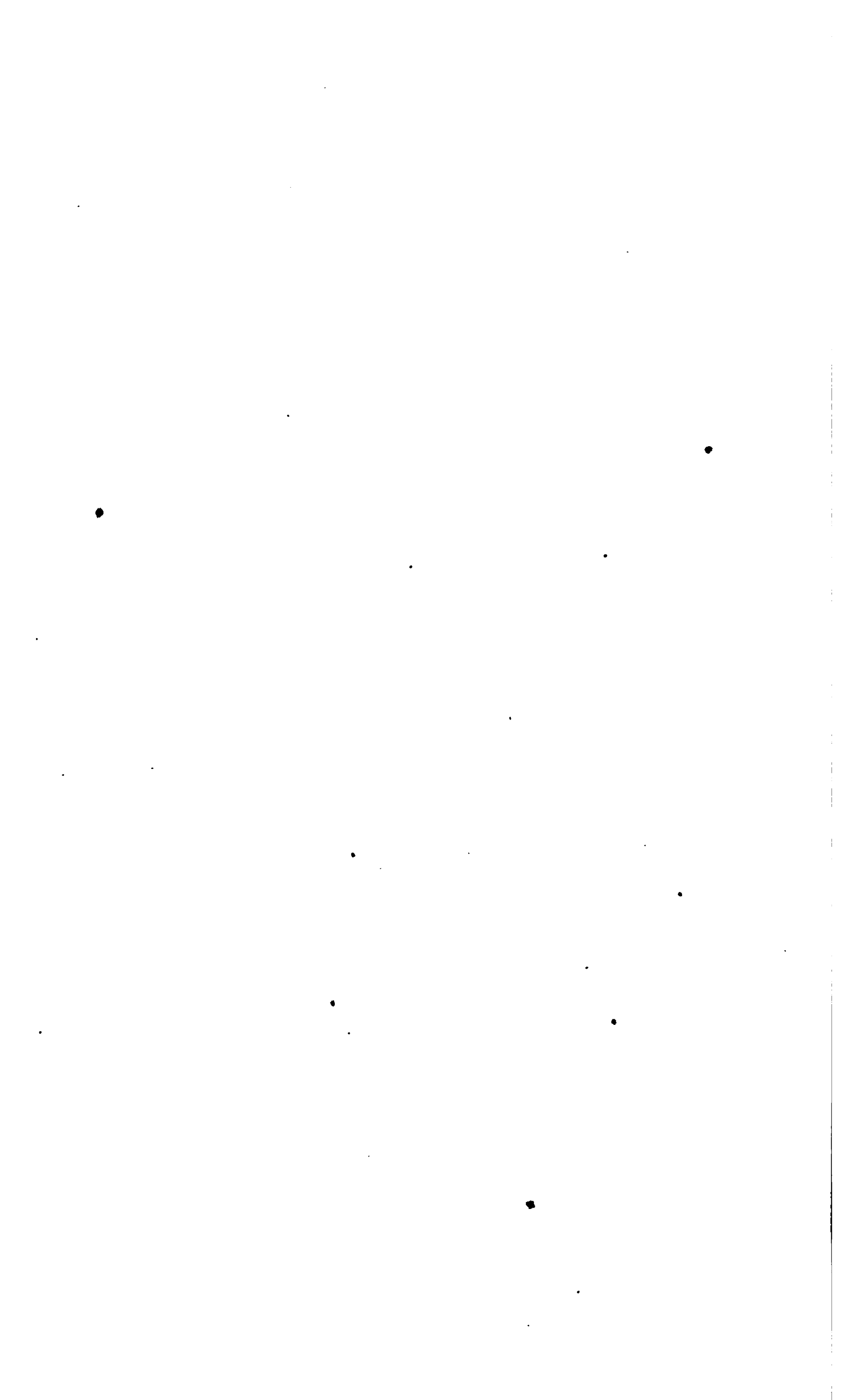
ROSTOCK.
Carl Boldt'sche Hof-Buchdruckerei.
1903.

Referent: Herr Professor Dr. **Wachsmuth.**

Meinem lieben Vater

und dem Andenken meiner teuren Mutter

in Dankbarkeit!



Nachfolgende Arbeit über Einwirkung von Röntgenstrahlen auf Flussspat baut sich auf Untersuchungen auf, welche die Herren Winkelmann und Straubel bald nach der Entdeckung der X-Strahlen angestellt haben.[1])

Bei Ermittelungen über Reflexion von Röntgenstrahlen an Kristallen fanden genannte Herren, dass der Flussspat eine bedeutende Verstärkung der photographischen Wirkung der X-Strahlen hervorrief, erkannten aber auch, dass diese starke Wirkung nicht durch Reflexion veranlasst sein konnte. Sie nahmen daher eine Umwandlung der X-Strahlen in solche von anderer Wellenlänge an, die sie „Flussspatstrahlen“ nannten. Im Gegensatz zu den Röntgenstrahlen selbst, die sie erzeugen, vermochten diese Strahlen Papier und Stanniol nicht zu durchdringen, wohl aber Glas. Die Wellenlänge dieser Flussspatstrahlen wurde bestimmt und ergab sich durch Berechnung aus der Ablenkung eines Spaltbildes durch ein Flussspatprisma zu 274 $\mu\mu$, nach

---

[1]) Winkelmann und Straubel „Über einige Eigenschaften der Röntgen'schen X-Strahlen“, Jena, Gustav Fischer 1896. 2. Auflage.

einer anderen Methode durch Vergleich mit dem Zink- und Aluminiumspektrum zu 280 $\mu\mu$ im Mittel.

Diese Resultate wurden von verschiedenen Seiten, wie Forster,[1]) Arnold,[2]) J. Precht[3]) u. a., nachgeprüft, konnten jedoch nicht in vollem Umfange bestätigt werden. Als wahrscheinlicher Grund hierfür wird angegeben, dass Stücke von anderen Fundorten benutzt wurden. Ein Zusatz, den Winkelmann und Straubel ihrer ersten Veröffentlichung beigefügt haben, bestätigt auch, dass die Flussspatstücke je nach ihrem Fundort verschieden wirksam waren.

Auch scheint es, als wenn C. Dölter,[4]) der Mineralien auf Durchlässigkeit für Röntgenstrahlen untersuchte, von einem Auftreten einer besonderen Strahlenart beim Flussspat nichts gefunden hat.

Seitdem haben sich die Kenntnisse über die Röntgenstrahlen sehr erweitert. Es ist festgestellt worden, dass diese Strahlen nicht diffus reflektiert, sondern teilweise durchgelassen, teilweise umgewandelt werden, dass Metalle, die von ihnen getroffen werden, verschiedene Arten von Strahlen aussenden, sowohl sekundäre X-Strahlen, als auch Kathoden- und ultraviolette Strahlen. Bei diesen Untersuchungen scheint niemals eine besondere Art von „Flussspatstrahlen“ beobachtet zu sein. Jedenfalls findet sich in der Literatur kein Hinweis, dass

---

[1]) Apothekerzeitung **11,** pag. 277, 1896.

[2]) Zeitschrift für Elektrochemie 1896, pag. 602.

[3]) Wied. Ann. **61,** pag. 345, 1897.

[4]) Neues Jahrbuch für Mineralogie I, Heft 3.

ein neuer Versuch gemacht worden ist, die Wellenlänge derselben zu bestimmen.

Nach dieser Richtung hin ergänzend vorzugehen, ist die Hauptaufgabe der nachfolgenden Arbeit. Sie wurde auf Anregung des Herrn Professor Dr. Wachsmuth unternommen und im hiesigen physikalischen Institut mit Einverständnis der Herren Winkelmann und Straubel ausgeführt.

I.

Apparate.

Zur Erzeugung der Röntgenstrahlen diente eine Fokalröhre der Firma Siemens & Halske. Gespeist wurde sie durch ein Induktorium von 30 cm Schlagweite, welches mittels eines Wehneltunterbrechers mit Wasserkühlung betrieben wurde. Die primäre Spannung betrug etwa 35 Volt, die mittlere Stromstärke 8 bis 10 Ampère (bei schwankendem Ampèremeter abgelesen). Bei den Versuchen ergab sich als grosser Übelstand, dass die Röhre innerhalb von etwa 1½ Stunden bei intermittierender Beanspruchung so hart wurde, dass die Spannung den Weg über die parallel zur Röhre geschaltete Funkenstrecke nahm und ein Durchschlagen der Röhre zu befürchten war. Sie musste dann regeneriert werden; dieses war durch Erhitzen eines in die Röhre eingeschmolzenen und teilweise aus ihr hervorragenden Palladiumdrahtes leicht zu erreichen, doch wurde dadurch häufig die Anordnung gestört. Um diese Störungen während der Dauer einer Auf-

nahme zu vermeiden, wurde die Regenerierung der Röhre vor Beginn eines jeden längeren Versuches vorgenommen. Die Röhre war in einem Holzkasten lichtdicht eingeschlossen. Die X-Strahlen traten durch einen Pappdeckel nach oben aus, so dass die benutzten Apparate direkt auf letzterem aufgestellt werden konnten.

Als die Platinantikathode dieser Röhre durch langen Gebrauch durchgeschmolzen war, wurde eine ältere Type der Röntgenröhren verwendet, die mittels eines Induktoriums mit Hammerunterbrecher betrieben wurde. Sie wirkte aber bei weitem nicht so intensiv und brachte auch die im letzten Teile dieser Arbeit (siehe S. 23 ff.) beschriebenen Erscheinungen nur in geringem Grade hervor.

Als Schutz gegen unbeabsichtigte Wirkungen der X-Strahlen dienten 3 mm dicke Platten aus Walzblei, die sich als vollkommen undurchlässig erwiesen. Die Untersuchungen fanden fast ausschliesslich auf photographischem Wege statt. Benutzt wurden zunächst photographische Platten, die besonders empfindlich für ultraviolettes Licht waren; da sich aber im Laufe der Untersuchungen herausstellte, dass solche Strahlen nicht auftraten, wurden orthochromatische Platten der Aktien-Gesellschaft für Anilinfabrikation verwendet.

Zur Untersuchung benutzt wurden folgende Flussspatkristalle, die zum Teil vom Mineralienhaus Droop, Dresden-Plauen, und der Naturalienhandlung A. Böttcher, Berlin, bezogen waren, zum Teil von Herrn Professor Dr. Geinitz aus dem hiesigen mineralogischen Institut in liebenswürdigster Weise zur Verfügung gestellt waren:

a) grosser Kristall mit bläulicher Fluoreszenz, Northumberland;
b) grosser Kristall mit rötlicher Fluoreszenz, Northumberland;
c) grosser Kristall, weiss, ohne Fluoreszenz, Harz;
d) Fluorit, grünlich, Spaltungsstück, Westmoreland-New Hampshire;
e) kristallinisches Stück, weiss, Sarnthal;
f) 3 mm dicker Schliff, farblos, durchsichtig, unbekannten Ursprungs;
g) diverse verschieden gefärbte amorphe Stücke.

Ausserdem wurden Stücke von andern Fundstellen der Untersuchung unterworfen, die aber nicht weiter benutzt wurden, wenn sie sich nicht als besonders wirkungsvoll erwiesen.

Die Herren Winkelmann und Straubel geben an,[1]) dass am wirksamsten eine Platte von einem Flussspatstück von der Oltschenalp bei Brienz — sie heisst übrigens Oltscherenalp, wie durch eine Anfrage in Brienz in Erfahrung gebracht wurde — gewesen ist. Leider war es trotz der grössten Bemühungen nicht möglich, ein derartiges Stück zu beschaffen. Stücke aus dem Breisgau erwiesen sich nicht wirksamer als andere Stücke, obwohl die von Winkelmann und Straubel benutzten Fluorite desselben Fundortes als fast so wirksam wie das erstgenannte von ihnen bezeichnet werden.

---

[1]) l. c. pag. 14.

II.

Wiederholung der Versuche über Verstärkung der photographischen Wirkung der X-Strahlen durch Flussspat.

Es zeigten sich die von den ersten Entdeckern und vielen andern Forschern beobachteten Resultate. Die Versuchsanordnung war dabei so, wie von Winkelmann und Straubel angegeben.[1]) Die Röntgenstrahlen treffen auf den abzubildenden Gegenstand und gehen dann durch die photographische Platte, auf deren lichtempfindlicher Schicht, also von dem Gegenstand durch die Platte getrennt, sich der Flussspat befindet. Eine Verstärkung der Wirkung, die sich in kürzerer Expositionsdauer bemerkbar machte, fand bei fast allen untersuchten Stücken, mit Ausnahme einiger amorphen, statt. In welchem Masse diese Verstärkung eintrat, darüber konnten aus dem oben angeführten Grunde der schnellen Änderung der Härte der Röhre keine genauen Messungen gemacht werden. Der Vorgang der Abbildung spielt sich dabei folgendermassen ab:

Die durch den abzubildenden Gegenstand mehr oder weniger durchgelassenen X-Strahlen regen die zunächst getroffenen Stellen des Flussspatstückes in verschiedenem Grade zur Emission von Strahlen an. Diese letzteren wirken dann rückwärts auf die lichtempfindliche Schicht.

---

[1]) l. c. pag. 13.

Dadurch ergibt sich auch, dass das Bild umsoweniger scharf wird, je dicker das Flussspatstück ist und je länger die Exposition dauert, da sich die Emission allmählich durch das ganze Stück erstreckt. Am geeignetsten sind also kleinere Stücke, wie auch die Herren Winkelmann und Straubel gefunden.[1])

Alle Resultate wurden photographisch fixiert. Es ergaben sich auch bei Beobachtung mit blossem Auge, die allerdings ausserordentlich ermüdend war, einige interessante Erscheinungen. Wurden die Flussspatstücke den Röntgenstrahlen ausgesetzt, so fingen sie nach kurzer Zeit an, mit mattem grünlich-weissem Lichte zu leuchten, das allmählich stärker wurde,[2]) jedoch bei verschiedenen Stücken mit verschiedener Intensität, bei einigen, wie beim Kristall (b), so stark, dass man im dunklen Zimmer die Umrisse des Stückes auf 2 m Entfernung deutlich erkennen konnte.[3]) Diese grünliche Farbe trat bei allen Stücken auf, wenn sie überhaupt leuchteten, während sie im diffusen Tageslicht ganz verschiedene Farben zeigten und im Sonnenlicht mit wieder andern Farben (rötlich, bläulich), grösstenteils aber garnicht fluoreszierten. Eine andere Verschiedenheit der Farbe ergab sich beim Erhitzen einzelner Stücke, die dann je nach ihrem Fundort und ihrer Grösse kräftige grüne, blaue, auch rote Färbung auf-

---

[1]) l. c. pag. 13.

[2]) vergl. auch J. Precht l. c. pag. 348.

[3]) Bei dieser Helligkeit wird auch die Vermutung unwahrscheinlich, dass die weisslich-grüne Färbung durch sog. Stäbchenseher erscheine. Vgl. O. Lummer Wied. Ann. **62**, pag. 17, 1897.

wiesen. Es ist daher wohl nicht zulässig, die Ausdrücke Fluoreszenz und Phosphoreszenz beliebig für die Erscheinung des Leuchtens von Flussspat und andern Mineralien unter Röntgenstrahlen anzuwenden, wie man namentlich in der älteren Literatur findet. Da die Lichtemission noch längere Zeit — es wurden bei einzelnen Stücken bis zu 4 Stunden beobachtet — nach Aufhören der Bestrahlung andauert, so wäre vielleicht der Ausdruck Phosphoreszenz allein am Platze.

Das Leuchten des Flussspates findet im ganzen Stücke statt. Auch dann, wenn den Röntgenstrahlen durch ein Diaphragma ein bestimmter Weg vorgeschrieben ist, hebt sich derselbe im Innern des Kristalls nicht ab. Doch markieren sich auf dünneren Stücken, besonders auf dem Schliff (f) Stellen, die gegen X-Strahlen geschützt waren, durch schwächere Lichtemission gegen die Umgebung.

Soweit die Ergebnisse der Beobachtungen mit blossem Auge. Wurden nun die zu untersuchenden Stücke auf die photographische Platte gelegt und dann den X-Strahlen ausgesetzt, so ergeben sich interessante Bilder, die auf Tafel I reproduziert worden sind.

Fig. 1 stellt das Bild des Schliffes (f) dar. Er ist begrenzt von zwei polierten Flächen, während die Ränder rauh geblieben sind. Man sieht deutlich die stärkere Wirkung der rauhen Ränder; die Mitte des Stückes zeigt nur eine geringere Verstärkung gegenüber den nur von X-Strahlen getroffenen Stellen der Platte.[1])

Dass die vom Flussspat ausgesandten Strahlen Papier, Aluminium u. a. nicht durchdringen, wohl aber

---

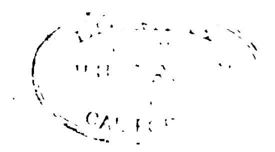
[1]) Vergl. auch Winkelmann und Straubel l. c. pag. 12.

Glas, wurde bestätigt. Interessant ist hier die Aufnahme durch Glas. (Fig. 2.) Die Anordnung ist dabei folgende: Die Röntgenstrahlen fallen auf den Kristall (b), nachdem sie durch ein Diaphragma gegangen sind, das kleiner ist als der äussere Umfang des Kristalles. Auf einer Fläche desselben liegt eine $1^1/_2$ mm dicke Glasplatte, auf die dann die photographische Platte gelegt wurde. Man sieht auf Fig. 2 deutlich die Umrisse des Kristalls, ausserdem die äussere Begrenzung des Glases, aber nicht als scharfe Kante, sondern als Projektion vom leuchtenden Kristall aus. Die Wirkung der Flussspatstücke auf die photographische Platte zeigt sich nicht nur, solange dieselben den X-Strahlen ausgesetzt sind. Auch wenn einzelne Stücke tagelang an Stellen aufbewahrt wurden, wo sie nicht von diesen Strahlen getroffen werden konnten, ergaben sie, mehrere Stunden auf die Platte gelegt, Abbildungen. Länger als vier Tage hielt jedoch die Wirksamkeit nicht an. Die direkte Berührung kann diese Einwirkung nicht hervorbringen, da sie auch durch eine Glasplatte hindurch eintritt.

III.

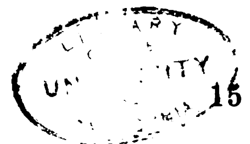
Bestimmung der Wellenlänge.

Es handelt sich nun darum festzustellen, von welcher Art bez. wenn es sich um transversale Ätherschwingungen handelt, welcher Wellenlänge diese vom Flussspat ausgesandten Strahlen sind. Die Herren Winkelmann und Straubel haben gefunden, dass



das Intensitätsmaximum im ultravioletten Teile des Spektrums liegt. Schon ganz oberflächliche Versuche zeigten ein anderes Resultat. Die genannten Herren konnten sich für die Aufnahme des Spektrums eines Apparates bedienen, bei dem die Strahlen noch auf 60—70 cm Entfernung auf die photographische Platte wirkten. Für vorliegende Versuche stand ein ganz ähnlicher Spektograph zur Verfügung, der eigens für Aufnahmen im ultravioletten Teile angefertigt war. Das Kollimatorrohr enthielt eine Quarz-Flussspatlinse von etwa 16 cm Brennweite, das Fernrohr, an dessen Ende die photographische Platte befestigt werden konnte, eine Quarzlinse von 15 cm. Zur Erzeugung des Spektrums diente ein Cornu'sches Doppelprisma aus rechts- und linksdrehendem Quarz von zusammen 60°. Vor dem Spalt, dessen Breite in weitesten Grenzen verändert werden konnte, wurden die zu untersuchenden Stücke in etwa 3 mm dicken Platten befestigt. Es zeigte sich selbst bei geradem Strahlendurchgang (ohne Prisma) keinerlei Einwirkung. Leider standen, wie oben erwähnt, Flussspatstücke von Fundstellen, wie sie Winkelmann und Straubel benutzten und mit denen sie die günstigsten Resultate erzielten, nicht zur Verfügung. Auch bei einer Anordnung mit bedeutend kürzerer Entfernung von 10 cm ergaben sich nur schwache Wirkungen.

Bei der geringen Intensität der Strahlung der angewandten Flussspate mussten daher andere Anordnungen getroffen werden. Da anzunehmen war, dass ein Flussspatprisma durch die überall auftretenden



sekundären X-Strahlen zu eigener Emission angeregt werden würde, so wurde nur ein Quarzprisma verwendet. Dasselbe war von der Firma Schmidt & Haensch in Berlin angefertigt. Da es zuerst in anderer Weise Verwendung finden sollte, so hatte es einen brechenden Winkel von 74° 4,8′ erhalten und war so geschliffen, dass Strahlen, die im Minimum der Ablenkung durch das Prisma gingen, parallel zur optischen Achse verliefen. Übrigens konnte infolge des geringen Gangunterschiedes des ordentlichen und ausserordentlichen Strahles in der Nähe der optischen Achse der Einfallswinkel in weiteren Grenzen (60° bis 70°) variiert werden, ohne dass sich die Doppelbrechung störend bemerkbar machte. Die Länge der Kanten, die den brechenden Winkel einschlossen, betrug 20 mm.

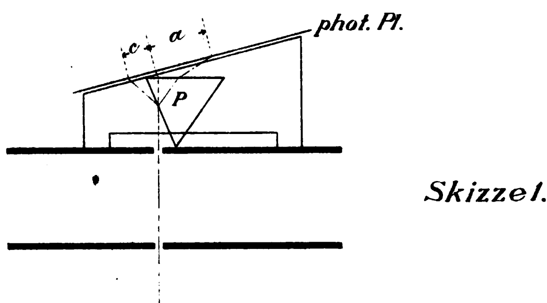
Wegen der geringen Dispersion des Quarzes war es schwer, ein breites Spektrum zu erhalten, während andererseits die geringe Intensität der untersuchten Strahlen zu einer möglichst zusammengedrängten Anordnung zwang.

Die Aufnahme der Spektren der Flussspatstrahlung und der Vergleichsspektren geschah schliesslich in folgender Anordnung, die sich nach vielem Probieren als die geeignetste ergab.

Die X-Strahlen treten durch ein Bleidiaphragma von etwa 2 cm Durchmesser auf das zu untersuchende Flussspatstück. Über diesem befindet sich ein Gestell aus 1 mm dickem Messingblech. Dieses enthält zwei übereinander liegende, unter sich parallele eingelötete Bleche mit je einem Spalt, die wieder parallel zu einander

sind. Die Breite des unteren, dem Flussspat zugekehrten Spaltes war fest und betrug 1 mm, die des oberen variabel und wurde auch auf etwa 1 mm eingestellt.

Diese beiden übereinander liegende Spalte dienten zum Parallelmachen der Strahlen, von der Verwendung einer Sammellinse wurde abgesehen, um die Anordnung nicht zu sehr auseinander zu ziehen. Über dem oberen Spalte wurde das Quarzprisma befestigt, so dass Strahlen, die durch die beiden Spalte hindurch gegangen waren, durch das Prisma abgelenkt wurden. Dasselbe war zwischen zwei Blechstreifen gekittet, die senkrecht auf dem oberen Bleche des Gestells standen und deren obere Begrenzungsflächen, unter sich parallel, mit der oberen Fläche des Prismas einen kleinen Winkel von 7° bis 10° bildeten. Die Entfernung der brechenden Kante vom oberen Blech betrug 18 mm; sie wurde dem oberen Spalte genau parallel gemacht durch Ausmessung der Entfernung des unabgelenkten Spaltes vom reflektierten Spaltbilde (s. u. S. 18). Auf die schmalen Begrenzungsflächen der Bleche wurde die photographische Platte gepresst.



Skizze I.

Die Strahlen, welche vom Flussspatstück, das sich etwa 10 mm vom unteren Bleche entfernt befand, fielen zunächst durch die beiden Spalte (s. Skizze 1) und trafen dann die eine Seitenfläche des Prismas unter einem Winkel von etwa 65°. Der mittlere Weg im Prisma betrug etwa 5 mm. Durch Neigen des Gestells wurde dafür gesorgt, dass die Röntgenstrahlen nicht direkt durch die Spalte gehen konnten; trotzdem beobachtete man häufig Verbreiterungen des Spaltbildes.

Auf den Photographien sieht man dann folgendes (Tafel II, Fig. 1—7): Zunächst erscheinen die durch die beiden Spalte parallel gemachten unabgelenkten Lichtstrahlen auf einer Strecke von etwa 15 mm unterbrochen durch das Prisma und die dasselbe tragenden Blechstreifen; dann das breite Spektrum und ausserdem das durch Reflexion an der vorderen Prismenfläche entstandene Bild. Dieses letztere diente in ausgezeichneter Weise dazu, die Unveränderlichkeit der Aufstellung zu kontrollieren.

Da auch bei dieser Anordnung namentlich wegen der endlichen Breite der Spalte — wurden sie enger gemacht, so wurde die Intensität zu sehr abgeschwächt oder die Diffraktion zu stark — Berechnungen aus Messungen zu keinen genauen Resultaten führten, so mussten Vergleichsspektren aufgenommen werden. Hierzu wurden Strahlen des Sonnenlichtes benutzt. Es wurde ein Sonnenspektrum entworfen; aus diesem wurden schmale Streifen ausgesondert, die man durch einen Spiegel von unten her auf das Gestell fallen liess, während der übrige Teil des Spektrums in passender

Weise abgeblendet wurde. So wurden Strahlen in der Nähe der Linie B (Taf. II, Fig. 1),

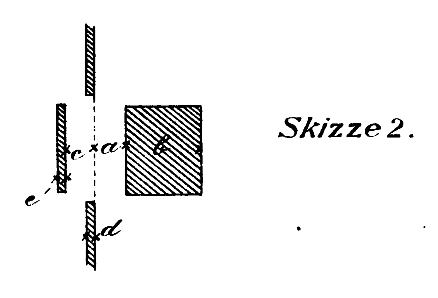
D („ Fig. 2),

E („ Fig. 3),

G („ Fig. 4)

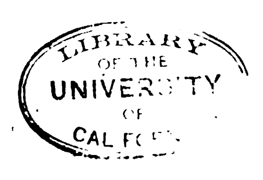
abgelenkt. Ferner gab das weisse Sonnenlicht das Spektrum: Fig. 5.

Durch Vergleichung dieser Figuren sieht man deutlich die Vergrösserung von a mit zunehmendem Brechungsexponenten (s. Skizze 2), sowie die Verbreiterung des Spektrums b infolge der endlichen Breite des



Skizze 2.

Spaltes: die Strecke c darf sich natürlich nicht ändern. Es wurden eine Reihe von Aufnahmen dieser Vergleichsspektren gemacht. Die Breite d des nicht abgelenkten Spaltbildes ergab sich bei allen Versuchen in guter Übereinstimmung zu etwas mehr als 1 mm; ebenso war die Breite e des reflektierten Spaltbildes ungefähr 1,3 mm und der Abstand $c = 3$ mm. Diese Grössen konnten auf dem Negativ mittels eines Mikroskops mit Verschiebung des Tisches in horizontaler Richtung gemessen werden. Die Grenzen der belichteten Stellen markierten sich dabei sehr scharf, so dass die



Abweichungen der einzelnen Messungen von einander höchstens 0,1 mm betrugen. Nicht so genau konnte die Entfernung $(a+c)$ des gebrochenen Spaltbildes vom reflektierten ermittelt werden, die der Bequemlichkeit wegen an Stelle von a gemessen wurde. Hierbei wurde ein Kathetometer angewendet; es ergaben sich Abweichungen bis 0,25 mm. Trotzdem sind diese Resultate zu benutzen, da es sich bei diesen Messungen um grössere Strecken handelte. Bei den Aufnahmen der Vergleichsspektren betrugen die Expositionszeiten, welche durch Probieren als die günstigsten gefunden wurden, für B und D: 2 Minuten, für E und G: 30 Sekunden, für weisses Sonnenlicht 10 Sekunden. Dabei wurde die Intensität der einfallenden Strahlen durch eine Mattglasscheibe gedämpft, die keine selektive Absorption zeigte.

Aus je drei Aufnahmen ergaben sich folgende Mittelwerte für a und die Breite b des Spektrums:

Farbe	a	b
B	2,5	2,7
D	2,6	3,8
E	3,9	6,3
G	7,8	7,6
Sonne	4,2	bis ans Ende der Platte

Bei den Aufnahmen der vom Flussspat ausgesandten Strahlen musste die Expositionszeit auf $1^1/_2$ Stunden verlängert werden. Nach dieser Zeit fanden sich nur bei zwei Stücken, dem kristallinischen Stück aus dem Sarntal, von dem eine Platte abgespalten wurde, und den Spaltungsstücken vom Fluorit aus Westmoreland

(Seite 9 mit d bez.), Abbildungen auf der photograpischen Platte, die zu einer genauen Messung verwendet werden konnten. Bei allen übrigen Stücken war zwar eine Schwärzung zu erkennen, aber sie war zu schwach und liess sich auch nicht durch Verstärken der Negative brauchbar machen. Wurde die photographische Platte weniger geneigt (vergl. Skizze 1 auf S. 16), so wurde zwar die Einwirkung deutlicher, aber die Vergleichsspektren wurden dann zu schmal, so dass auf eine Bestimmung der Wellenlänge dieser Strahlungen verzichtet werden musste.

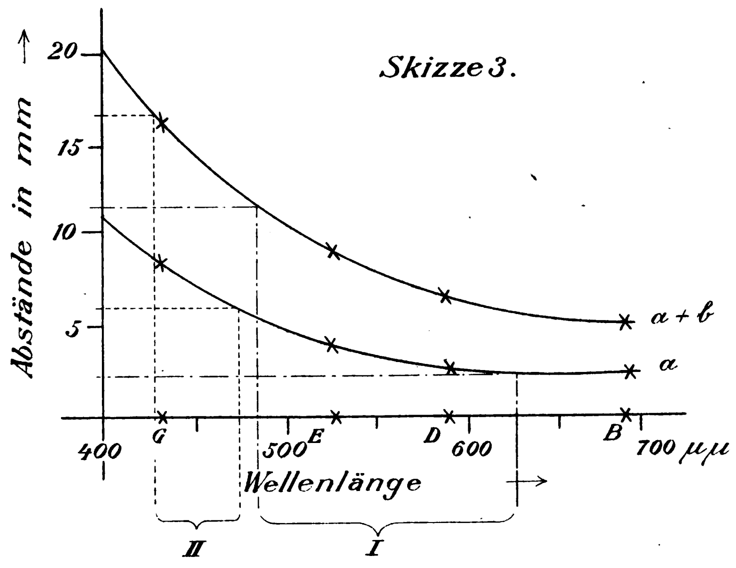
Die Abbildungen Taf. II, Fig. 6 und 7 zeigen die erhaltenen Resultate, Fig. 6 für das Stück von Westmoreland, Fig. 7 für das Stück aus dem Sarntal. Es wurden ebenfalls je drei Aufnahmen gemacht, die verhältnismässig gut übereinstimmten, wenn auch nicht so gut, wie bei den Vergleichsspektren.

Die Messung der Abstände ergab:

Fundort	$a + b$	b
I. Westmoreland	5,2	8,5
Fig 6.	6,0	8,8
	5,8	9,7
im Mittel:	5,7	9,0
II. Sarntal	9,2	10,5
Fig. 7	9,5	11,0
	8,7	10,7
im Mittel:	9,1	10,7

Da sich bei diesen Aufnahmen, namentlich bei Fig. 6, eine Verbreiterung des unabgelenkten Spaltbildes zeigte,

so war die Entfernung *a* nicht direkt zu messen. Wird aber angenommen, dass sich die Aufstellung während der Dauer einer Reihe von Aufnahmen nicht verändert hat — in der Tat ergaben sich keine Verschiedenheiten, wenn die Versuche mit den Vergleichsspektren wiederholt wurden —, so ist der früher für *c* gefundene Wert von 3 mm von der Strecke $a + c$ abzuziehen. Es berechnet sich so die Entfernung *a* für I zu 2,7 mm, für II zu 6,1 mm. Vergleicht man diese Werte mit denen der Vergleichsspektren, so sieht man sofort, dass das Spektrum für II wenig länger ist, als das für die *G*-Linie, während dasjenige für I das Ende des *G*-Spektrums noch nicht erreicht. Genauere Aufschlüsse über die Lage der von den beiden Flussspatstücken ausgesandten Strahlen im Spektrum erhält man, wenn man die Abstände *a* und $a + b$ als Funktionen der Wellenlängen der Linien *B*, *D*, *E* und *G* graphisch aufträgt.



Die untere Kurve (Skizze 3) enthält die Abstände a, also die Entfernungen der Anfänge der Spektren von der einen Kante des Spaltes, die obere die Entfernungen ihrer Enden von derselben Kante, so dass also das Stück der Ordinaten zwischen den Kurven die Breite der einzelnen Vergleichsspektren angibt. Will man nun die Wellenlänge der Strahlen I finden, so sucht man auf der unteren Kurve den zu 2,7 gehörigen Wert der Wellenlänge: 630 $\mu\mu$, auf der oberen den zu 11,7 gehörigen: 480 $\mu\mu$. Die Strahlen liegen also zwischen 480 und 630 $\mu\mu$, d. h. ungefähr zwischen den Fraunhofer'schen Linien F und C. Auf dieselbe Weise ergibt sich für II die Wellenlänge 425—475 $\mu\mu$, also zwischen den Linien G und F. Es zeigen sich demnach in beiden Fällen nur dem sichtbaren Teile des Spektrums angehörige Strahlen. Bei den verhältnismässig grossen Abweichungen der einzelnen Messungen von einander wollen diese Bestimmungen keinen Anspruch auf absolute Genauigkeit machen. Das eine steht aber fest, dass bei den Spektren der andern Flussspatstücke, die, wie oben ausgeführt, zu lichtschwach waren, sich niemals grössere Beträge für $a + b$ als beim Stück II fanden. Da das Maximum der chemischen Wirksamkeit jenseits des sichtbaren Teiles des Spektrums liegt, so hätten sich ultraviolette Strahlen markieren müssen, sich also ein längeres Spektrum ergeben müssen. Da dies aber nicht der Fall ist, so ist zu schliessen, dass bei sämtlichen untersuchten Stücken ultraviolette Strahlen nicht auftreten.

IV.

Das Phänomen der Unwirksamkeit der Kanten.

So kann man eine Erscheinung bezeichnen, die bei Betrachtung der Fig. 2, Taf. I und der folgenden Figuren in die Augen fällt. Die Versuchsanordnung war dabei sehr einfach. Die X-Strahlen gehen durch ein Diaphragma und treffen auf das Flussspatstück, das so gelegt ist, dass keine Strahlen direkt durch die Öffnung hindurchtreten können, was durch Vorhalten eines Baryumplatincyanirschirmes festgestellt wurde. Auf eine der schön ausgebildeten Flächen des Kristalls wird die photographische Platte gelegt. Die Kopien (Fig. 3 ff.) zeigen zunächst die Umrisse des Kristalls, oder wenigstens einer Ecke desselben, ausserdem eine wenn auch schwächere Wirkung auf die lichtempfindliche Schicht von dieser Grenzfläche nach aussen hin, mit Ausnahme einer Stelle an der Ecke, die dunkel bleibt. Auf Fig. 2, 3, 4 bildet dieser dunkle Raum einen rechten Winkel, bei Fig. 5 einen spitzen, der ebenfalls durch die Verlängerungen der Kanten erhalten wird. Diese Erscheinung zeigte sich mehr oder weniger bei allen regelmässigen Stücken; da sie aber am deutlichsten beim Kristall aus Northumberland mit rötlicher Fluoreszenz auftrat, so wurde dieser für die Aufnahmen der Fig. 2, 3, 4 verwendet. Fig. 5 wurde mit dem kristallinischen Stück aus dem Sarntal aufgenommen. Die Erscheinung zeigt sich auch, wenn man eine Kristallkante direkt gegen die photographische Platte legt, indem auf dem Negativ diese Stelle hell bleibt.

Soweit sich feststellen liess, ist dies Phänomen bisher noch nicht beobachtet worden.[1]) Vielleicht gehört hierher das Resultat, über welches die Herren Winkelmann und Straubel wörtlich berichten[2]): „Ferner zeigt sich, dass Flussspatplatten, die auf beiden Seiten hoch poliert waren, unwirksam sind“. Ob es sich in der kürzlich erschienenen Veröffentlichung von R. J. Strutt[3]) um ähnliche Erscheinungen handelt, ist fraglich; jedenfalls ist hier keine Fixierung auf die photographische Platte erfolgt.

Es soll versucht werden, dieses Phänomen zu erklären und zugleich Ermittelungen darüber angestellt werden, ob ausser den im vorigen Kapitel untersuchten sichtbaren Strahlen auch noch andere Strahlenarten bei Einwirkung von Röntgenstrahlen auf Flussspat emittiert werden.

1) Zunächst lag die Annahme nahe, dass diese Verschiedenheit der Wirkung von Flächen und Kanten in der molekularen Struktur des Kristalls begründet wäre, dass, wenn die Lichtemission ein chemischer Vorgang ist, die Kanten sich durch besondere Härte und Unwirksamkeit chemischen Einflüssen gegenüber auszeichnen. Diese Erklärung wurde durch die Tatsache hinfällig, dass auch ein Stück vom Kristall aus

---

[1]) Herr Prof. Wachsmuth hat schon vor Jahren dieselben Erscheinungen beobachtet, sie aber nicht weiter verfolgt.

[2]) l. c. pag. 11, Z. 5 v. u.

[3]) Fluorescence of Crystals under the Röntgen Rays. Phil. Mag. Vol. 6 Nr. 32 1903, pag. 250.

dem Sarntal, das ganz beliebig zu den Spaltungsflächen rechtwinklig geschliffen war, dieselbe Erscheinung zeigte. (Fig. 6, Taf. I.)

2) Auftreten von Kathodenstrahlen, die von den Kristallflächen senkrecht fortgeschleudert wurden, kann auch nicht der Grund der Erscheinung sein. Denn die Strahlung wird durch ein Aluminiumblatt von 0,116 mm Dicke vollständig aufgehalten. Ausserdem stimmt Fig. 5 nicht damit überein, da dort ein spitzer Winkel frei bleibt.

3) Die Frage, ob strahlende Wärme auf die Platte wirkt, wurde durch folgenden Versuch erledigt. Es wurden kleine Stücke von verschiedenen Fundstellen auf ein Metallblech gelegt und über einem Bunsenbrenner erwärmt. Dabei traten Thermolumineszenzerscheinungen auf, die einzelnen Stücke leuchteten in den verschiedenen Farben, solange sie erwärmt wurden. Nahm man sie aus der Flamme, so verloren sie nach sehr kurzer Zeit die Färbung, während sie noch so heiss waren, dass man sie mit den Fingern kaum halten konnte. Wurden sie so auf die photographische Platte gelegt, so zeigte sich keine Wirkung. Der Versuch wurde oft wiederholt, auch mit Metallstücken, da Tatsachen, die sich beim Gebrauch von photographischen Platten bemerkbar machen, dem zu widersprechen scheinen — immer mit demselben negativen Resultat. Nur wenn die Stücke noch leuchtend waren, markierten sie sich auf dem Negativ. Ein heisser Körper wirkt also nicht ohne weiteres auf die photographische Schicht ein. Auch eine Folge des Druckes, den die Körper infolge der

unmittelbaren Berührung ausüben, kann die Abbildung nicht sein, denn sie zeigt sich auch durch eine Glasplatte hindurch (Fig. 2 und 4), und zwar auch mit dem Phänomen der Kantenunwirksamkeit.

4) Weiter lag die Frage vor, ob diese Erscheinung durch Interferenz bedingt wäre. Diese Interferenz könnte hervorgerufen sein dadurch, dass die aus den Kristallflächen austretenden Strahlen in verschiedener Weise polarisiert wären. Die Annahme einer Doppelbrechung war ausgeschlossen, da der Flussspat im regulären System kristallisiert. Dass aber derartige Polarisationen des Fluoreszenzlichtes auftreten, hat Sohncke[1]) nachgewiesen. Es wurden daher mit dem Auge durch ein Nicol'sches Prisma die von den verschiedenen Flächen und Kanten des Kristalls, der den Röntgenstrahlen ausgesetzt war, austretenden Strahlen untersucht. Ein Unterschied der Intensität beim Drehen des Nicols konnte in keiner Richtung festgestellt werden. Es schien auch keine Schwächung der Strahlen an den Kanten vorhanden zu sein, wie sich überhaupt das Phänomen mit blossem Auge nicht beobachten liess.

5) Lässt sich die Erscheinung durch elektrische Ausstrahlungen erklären? Dann müssten Kanten und Flächen des Kristalls unter dem Einfluss von Röntgenstrahlen mit verschiedenen Elektrizitäten geladen werden und diese beiden Arten müssten verschiedene Wirkungen auf die lichtempfindliche Schicht ausüben. Denn wenn

---

[1]) Wied. Ann. 58, pag. 417, 1896.

es sich nur um gleichartige Elektrizität handelte, musste diese ja gerade an den Kanten und Ecken stärker ausstrahlen. Solche Verschiedenheiten an Kristallen hat G. C. Schmidt[1]) beobachtet. Er fand, dass bei Bestrahlen der Kristalle mit Bogenlicht „im allgemeinen die Kristallflächen in ihren mittleren Teilen negativ, dagegen in den Ecken und zum Teil auch selbst in den Mitten der Ränder positiv sind".[2])

Um festzustellen, ob die beiden Arten der Elektrizität verschieden wirksam sind, wurden folgende Versuche ausgeführt. Es wurden die Kristalle isoliert aufgestellt und an den negativen Pol des Induktoriums gelegt, während der positive Pol zur Erde abgeleitet war. In dem Lichte der übertretenden Funken fluoreszierten die Stücke mit den ihnen eigentümlichen Farben. Wurden sie dann auf die photographische Platte gelegt, so zeigte sich jedoch keine Wirkung; ebenso wenig wenn sie durch Anlegen an den positiven Pol mit dieser Elektrizität geladen wurden.

6) Es blieb nun noch die Möglichkeit übrig, dass das beobachtete Phänomen eine Folge von Totalreflexionen im Innern des Kristalls ist. Versuche nach dieser Richtung scheinen mehr Erfolg gehabt zu haben. Fig. 7 ist auf folgende Weise erhalten worden. Der Kristall wurde mit der photographischen Platte, auf der er mit einer Fläche auflag, zusammen in einen Kasten lichtdicht eingeschlossen, nur auf die Fläche,

---

[1]) Wied. Ann. **62**, pag. 407, 1897.

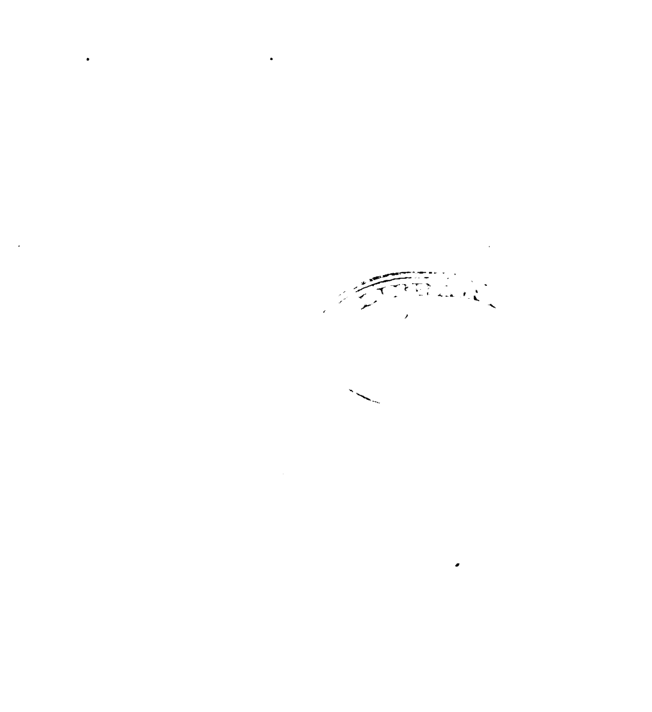
[2]) l. c. pag. 410.

die der photographischen Platte entgegengesetzt war, konnte durch ein längeres Rohr, das fest auf die Fläche geklebt war, Sonnenlicht fallen. Man sieht in Fig. 7 diese Stelle, trotzdem das Licht durch den ganzen Kristall hindurchgegangen ist, scharf markiert. Ausserdem aber die Umrisse des Kristalls, der jedenfalls Fluoreszenzlicht ausgesendet hat, und an der einen Ecke (in der Figur oben) die nicht von Strahlen getroffene schwarze Stelle, auch hier rechtwinklig. Es zeigt Fig. 8 noch deutlicher, dass man auch bei Anwendung von Sonnenlicht diese Erscheinung erhält. Der Kristall ist etwa zwei Stunden den direkten Sonnenstrahlen ausgesetzt worden; dann wurde er im dunklen Zimmer auf die Platte gelegt, wobei er mit mattem Licht phosphoreszierte. Er ergibt nach einigen Stunden eine deutliche Abbildung und zeigt auch das Phänomen. Ich gedenke, diese Erscheinung noch weiter zu verfolgen.

Resultate.

1) Die Resultate der Herren Winkelmann und Straubel u. a. in betreff der photographischen Wirksamkeit der vom Flussspat unter Einwirkung von Röntgenstrahlen ausgesandten Strahlen bestätigen sich.
2) Bei den untersuchten Fluoriten zeigen sich keine ultravioletten Strahlen, sondern nur solche, die in dem sichtbaren Spektralgebiet liegen.
3) Das Phänomen der Unwirksamkeit der Kanten der Kristalle ist unabhängig von den Röntgenstrahlen. Vielleicht ist die Erscheinung eine Folge von Totalreflexion im Innern des Kristalles. Sekundäre Röntgenstrahlen und Kathodenstrahlen scheinen nicht aufzutreten.

Zum Schlusse ist es mir eine angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Wachsmuth, für die Anregung zu dieser Arbeit und seine freundlichst gewährten Ratschläge, sowie dem Direktor des Physikalischen Instituts, Herrn Professor Dr. Matthiessen, für das rege Interesse, mit dem er meinen Untersuchungen gefolgt ist, meinen verbindlichsten Dank zu sagen.



Tafel I.

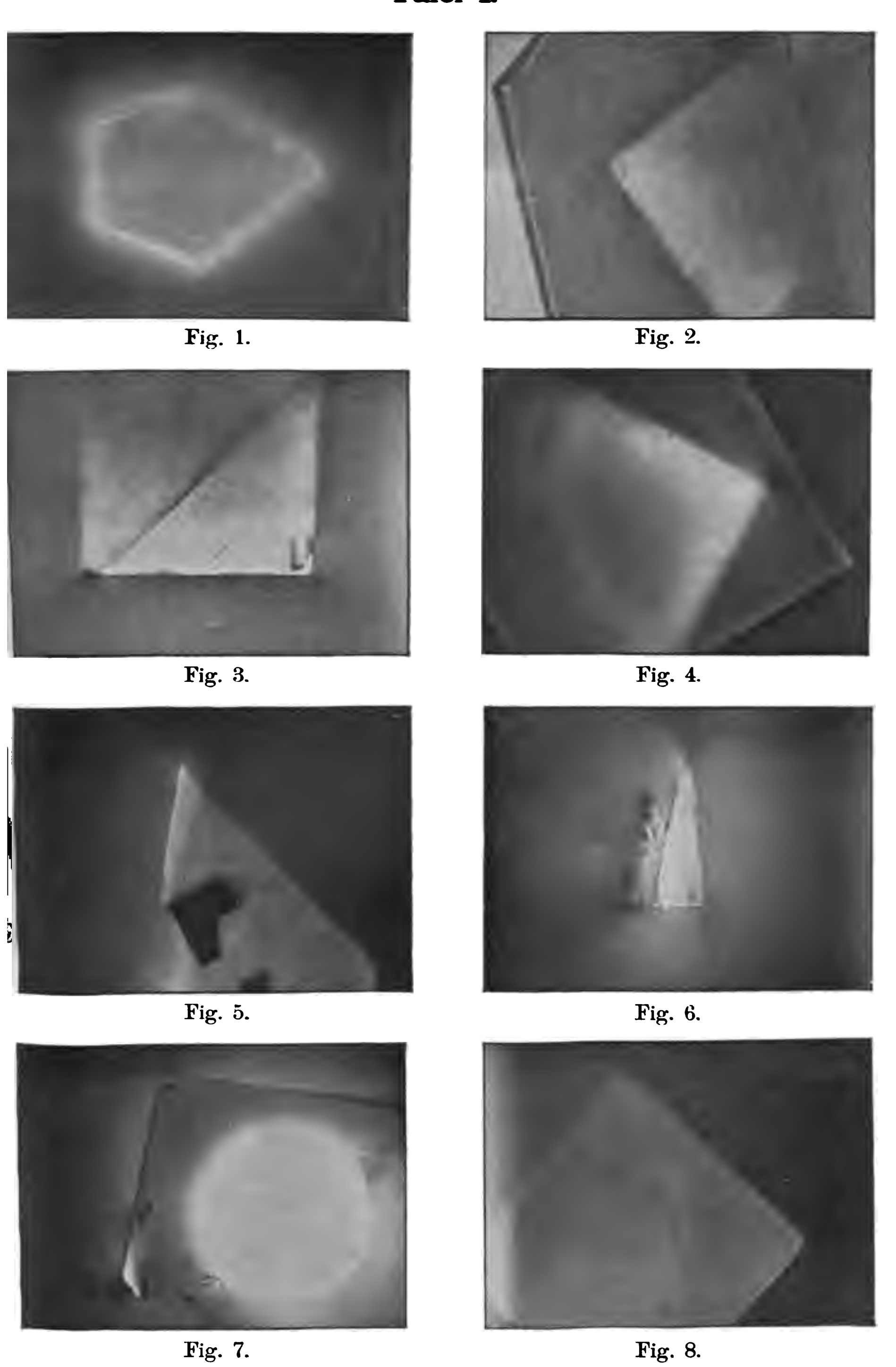
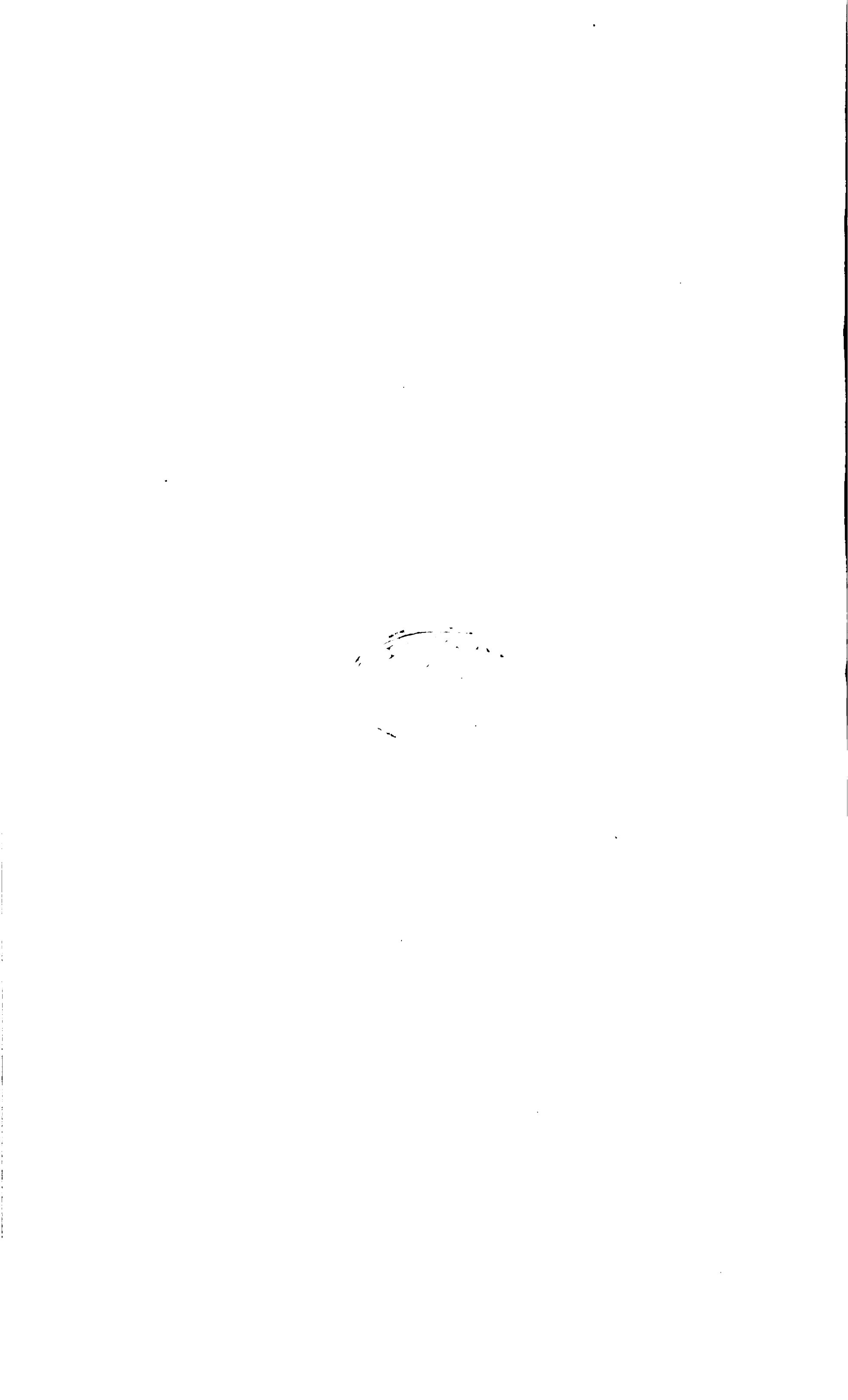


Fig. 1. Fig. 2.

Fig. 3. Fig. 4.

Fig. 5. Fig. 6.

Fig. 7. Fig. 8.



Tafel II.

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. 5.

Fig. 6.

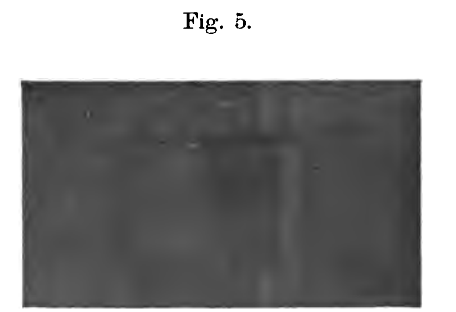
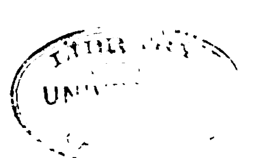
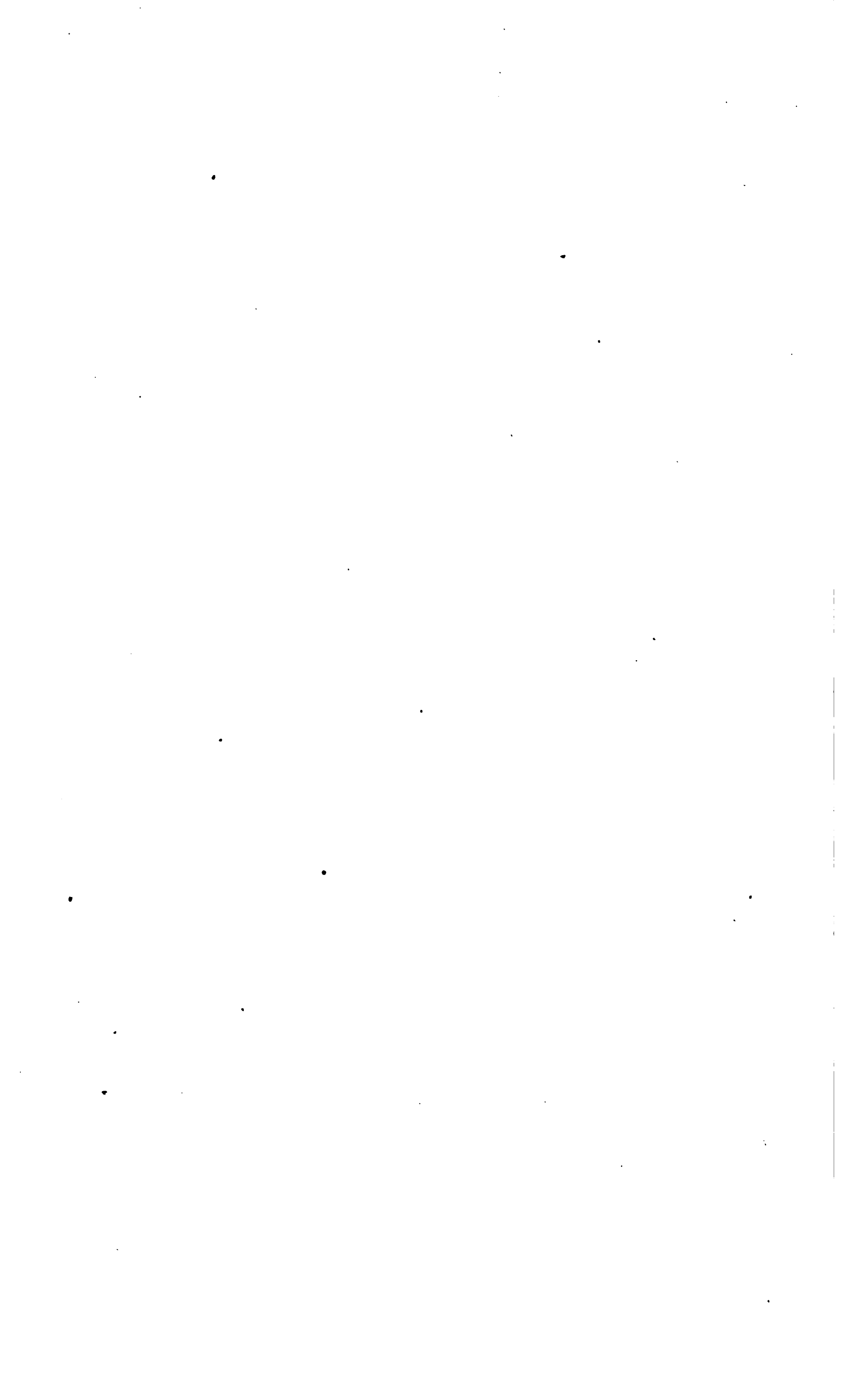


Fig. 7.








QC481
R3
157298

